

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню Магістра**

Студента Шаповалов Олександр Олександрович

академічної групи 141М-19-4

спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему: \_\_\_\_\_ Розробка електромеханічної системи позиціонування сонячної панелі \_\_\_\_\_

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Худолій С.С.			
розділів:				
Технологічна частина	Худолій С.С.			
Автоматизований електропривод	Худолій С.С.			
Дослідження динаміки електроприводу	Худолій С.С.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			
----------------	--------------------	--	--	--

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
електропривода  
\_\_\_\_\_ (повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня Магістра**

студенту \_\_\_\_\_ Шаповалов О.О. \_\_\_\_\_ академічної групи \_\_\_\_\_ 141М-19-4 \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та \_\_\_\_\_  
електромеханіка \_\_\_\_\_  
(офіційна назва)

на тему: \_\_\_\_\_ Розробка електромеханічної системи позиціонування сонячної панелі \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Технологічна частина	02.09.20 - 27.09.20
2	Автоматизований електропривод	28.09.20 - 10.11.20
3	Дослідження динаміки електроприводу	11.11.20 - 30.11.20
4	Техніко-економічне обґрунтування	01.12.20 - 07.12.20

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Худолій С.С.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 02 вересня 2020

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Шаповалов О.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 стор., 8 таблиць, 23 рисунків, 9 джерел.

Мета проекту: Розробка електромеханічної системи позиціонування сонячної панелі.

В розділі 1 наведено опис механізму сонячної панелі та її технічна характеристика .

В розділі 2 “Автоматизований електропривод” виконано розрахунок потужності електродвигуна, та вибір двигуна за розрахунковими даними.

В розділі 3 методом математичного моделювання досліджено динаміку запропонованої системи електропривода. розрахунок системи регулювання швидкості асинхронного двигуна з перетворювачем частоти. Вибрано перетворювач частоти.

В розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховані капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження запропонованої системи електропривода.

СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ТРЕКЕРНА СИСТЕМА,  
МЕХАНІЗМ ПОВОРОТУ, ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ,  
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, МОДЕЛЮВАННЯ.

## ABSTRACT

Explanation message: 50 pages, 8 tables, 23 pictures, 9 sources.

Project goal: Development of an electromechanical solar panel positioning system.

Section 1, describes the mechanism of the solar panel and its technical characteristics.

In section 2, "Automated electric drive" the calculation of motor power is performed, and the choice of motor according to the calculated data.

In section 3, the dynamics of the proposed electric drive system is investigated by the method of mathematical modeling. Calculation of the speed control system of an induction motor with a frequency converter. Frequency converter selected.

In the section "Feasibility study" were calculated capital and operating costs for the implementation of the proposed electric drive system.

SOLAR PANEL, TRACKER SYSTEM, TURNING MECHANISM, AC ELECTRIC DRIVE, FREQUENCY CONVERTER, SIMULATION.

## Зміст

Вступ.....	2
<b>1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>3</b>
Висновки по розділу.....	7
<b>2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....</b>	<b>8</b>
2.1 Вибір системи електропривода для сонячної панелі.....	8
2.2 Розрахунок механізму повороту сонячної панелі.....	11
2.3 Вибір електродвигуна .....	12
2.4 Визначення часу розгону і прискорення навантаження.....	12
2.5 Визначення моменту інерції навантаження.....	13
2.6 Визначення потужності двигуна . .....	14
2.7 Вибір двигуна. ....	14
2.8 Розрахунок додаткових характеристик двигуна. ....	16
2.9 Розрахунок гальма.....	17
Висновки.....	20
<b>3 Дослідження динаміки електроприводу .....</b>	<b>21</b>
3.1 Система частотного управління .....	21
3.2 Розрахунок параметрів САР і моделювання. ....	25
<b>4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Розрахунок капітальних інвестицій .....</b>	<b>34</b>
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	37
4.3 Амортизаційні відрахування .....	37
4.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії .....	39
4.5 Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт .....	41
4.6 Розрахунок річного фонду заробітної плати .....	42
4.7 Розрахунок єдиного соціального внеску .....	42
4.8 Визначення інших витрат .....	43
4.5 Визначення річної економії науково-технічного рішення.....	44
Висновки.....	46
Список літератури.....	47

					ЕП.МР.20.07. ПЗ	Арк.
						1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Зі стрімким зростанням чисельності населення та економічним розвитком зростає занепокоєння у зв'язку з енергетичною кризою та забрудненням навколишнього середовища. Дослідники намагаються дослідити нові технології виробництва електроенергії з чистих і відновлюваних джерел, таких як сонячні та вітрові.

Сонячна енергія є одним з найпоширеніших джерел енергії. Близько  $1,2 * 10^5$  ТВт сонячного випромінювання досягає поверхні Землі. Сонячна радіація має найбільший потенціал для зелених технологій, оскільки це дуже велике, чисте, безкоштовне і невичерпне джерело енергії що зменшує забруднення навколишнього середовища. Більш того, доступність цієї енергії значно вища в субтропічних країнах. Можливе перетворення сонячної енергії в механічну енергію або електричну з адекватною ефективністю. Однак кількість отриманої електроенергії прямо пропорційна інтенсивності сонячного світла, що падає на фотоелектричну панель. І для підвищення продуктивності цих систем, будуть обрані сучасні зразки техніки з підвищеними експлуатаційними можливостями.

Тому задача дипломного проекту є модернізація електроприводу позиціонування сонячної панелі шляхом застосування частотно-керованого електропривода.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Сонячні панелі - це напівпровідникові вироби, які акумулюють сонячну енергію і перетворюють її в електричний струм. Сонячні панелі постійно доопрацьовується, оскільки енергія сонця стає одним з основних екологічно чистих джерел енергії.

Зазвичай під терміном «сонячна батарея» мається на увазі панель генеруюча електричний струм під впливом сонячного світла. Сонячну батарею ще називають фотоелектричним перетворювачем. Так само зустрічаються такі терміни як: сонячний модуль, фотомодуль, сонячна панель і т.д.



Рисунок 1.1 – загальний вид сонячної панелі.

Використання трекерної системи, дозволять перетворити максимально можливу кількість сонячної енергії в електричну енергію. Основним недоліком такого способу, є ускладнення, а, отже, і подорожчання всієї конструкції. Крім того, трекер - це складний пристрій, що складається, і з різних механічних вузлів, він вимагає періодичного обслуговування.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

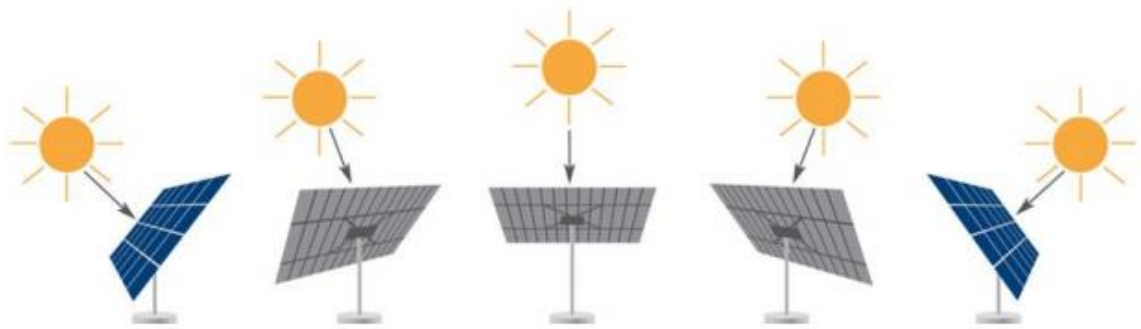


Рисунок 1.2 – Змінення положення сонячної панелі в просторі по азимуту і схилення за допомогою трекера.

Аналіз з використанням системи для стеження за положенням сонця показав, що дані системи доцільно використовувати на станціях потужністю від 3-5 кВт і вище. Тому, застосування трекерів з системах вуличного освітлення, де потужність сонячної батареї може бути в межах 50-200 Вт, не сприятиме підвищенню як надійності всієї системи, так її і економічності та ефективності.

Найчастіше, сонячні панелі встановлюють під певним кутом (схилання) до сонця, в напрямку по азимуту на південь або південний схід (Рисунок 1.3).

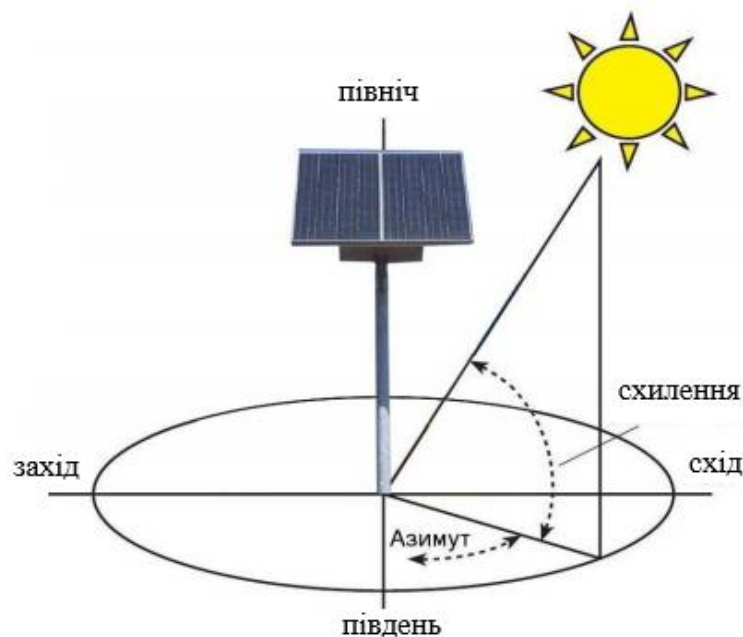


Рисунок 1.3 – Орієнтація сонячної панелі у просторі.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Сонячне світло, проходячи шлях від Сонця до Землі, досягає атмосфери, де, одна частина світла заломлюється і поглинається, а решта частина, що досягла землі, є прямою, а отже і з найбільш інтенсивною радіацією. Відомо, що сонячні батареї виробляють електрику при відсутності прямого сонячного випромінювання, навіть при похмурій погоді, коли сонячне світло слабке і розсіяне, фотоелектрична система все одно буде виробляти електрику.

Нижче наведена таблиця характеристик вибраної сонячної панельної системи(установки) .

Таблиця 1.1 – Характеристики сонячної системи ZRS

Режим управління	актуатор (траєкторія задана )
Точність відстеження	0,1°- 3,0°
Режим захисту від затемнення	Присутній
Крутний момент	2400 Н*м
Енергоспоживання на 1 установку	до 0,01кВт/доб
Діапазон азимута відстеження	-45° — 45°
Діапазон кута підйому (зеніт)	0° — 70°
Максимальна швидкість вітру (робоча)	28 м/сек
Максимальна швидкість вітру (нейтральне положення)	40 м/сек
Матеріал конструкції	сталь гарячого цинкування , >65µm
Діапазон робочих температур	-40°C — +70°C
Технічні стандарти і сертифікація	CE, TÜV SÜD
Вага	220 кг
Розмір панелі	1650/1950 мм x 992 мм(3,0 кВт)
Кількість панелей	11шт
Діаметр опорного елемента	450 мм
Коефіцієнт тертя $\mu_L$	0,01

Внаслідок руху Землі навколо Сонця, мають місце також сезонні варіації. Взимку сонце не досягає того кута, що й влітку. В ідеал, сонячні панелі повинні розташовуватись влітку більш горизонтально, ніж взимку. Зазвичай приймаємо для весни та осені оптимальний кут нахилу який дорівнює значенню широти місцевості. Для зими до цього значення додається 10-15 градусів, а влітку від цього значення віднімається 10-15 градусів. Тому зазвичай рекомендується міняти двічі на рік кут нахилу з "літнього" на "зимовий". Якщо такої можливості немає, то кут наклона вибирається приблизно рівним широті місцевості. Для кожної широти є свій оптимальний кут нахилу панелі. Тільки для місцевостей поблизу екватора, сонячні панелі повинні розташовуватись горизонтально.

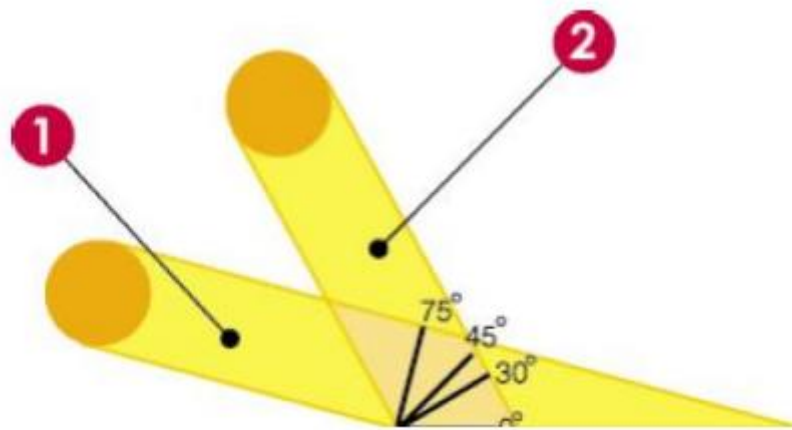


Рисунок 1.4 – оптимальний кут нахилу зимою та літом.

1. Сонце зимою. 2. Сонце літом.

Найбільше відхилення до 5 градусів від цього оптимума спричиняє незначний ефект на продуктивність модулів. Для 15 автономних систем оптимальний кут нахилу залежить від місячного графіка навантаження, тобто якщо в даному місяці споживається більше енергії, то кут нахилу потрібно вибрати оптимальним саме для цього місяця.

					ЕП.МР.20.07. ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **Висновки по розділу**

1. Обґрунтовано використання системи позиціонування сонячної панелі для більш ефективного використання сонячної енергії.
2. Дослідження впливу різних факторів на ефективність споживання сонячної енергії.
3. Приведені способи орієнтації сонячного трекера, принцип його роботи.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						7
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Вибір системи електропривода для сонячної панелі

З причини популярності сонячних електростанцій в усьому світі виникла необхідність збільшити ККД такої системи для збільшення кількості прибутку і збільшення кількості виробленої електроенергії (в автономних ЕС). Так як максимальну вироблення ми отримуємо при прямому падінні променів сонця на панель (під кутом 90 градусів) є сенс використання сонячних трекерів - рухомих систем кріплення сонячних батарей які змінюють положення батареї в напрямку сонячного випромінювання за допомогою електропривода. Такі рішення збільшують вироблення електричної енергії на 15-50% в залежності від самих панелей і виду трекера.

Сонячні трекери бувають одно або двовісний і забезпечують автоматичне, або задане визначення сонця і стеження за кутами нахилу стовпу з панелями для максимально ефективності їх роботи.

Перевага по відношенню зі стаціонарними кріпленнями :

1. Ефективність збільшується на 15-50%;
2. Відсутня необхідність чистки від снігу зимою;
3. Наслідок від негоди (шторм, град) можна мінімізувати за допомогою режиму переорієнтації;
4. Одноосьова трекерна система типу ZRS (схід-захід) з постійним відстеженням кута азимута сонця і налаштування.

					ЕП.МР.20.07. ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

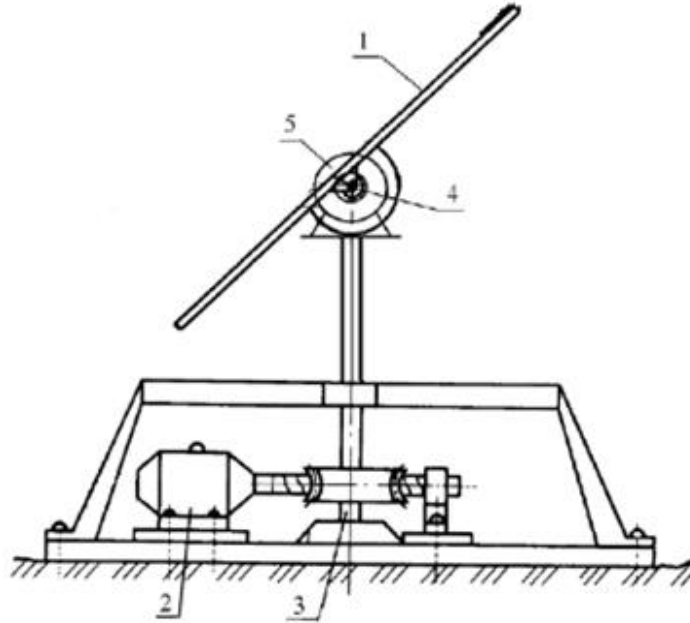


Рисунок 2.1 - Сонячна панель з електроприводом і редуктором

На (рис2.1) зображено : 1 – Сонячна панель; 2 – Вертикальний РВЕД;  
 3 – Вертикальний вал з ведучим зубчатим колесом(редуктор);  
 4 – Горизонтальний РВЕД; 5 – Горизонтальний вал з ведучим зубчатим колесом(редуктор);

Електроприводи, які рухають ці системи, як правило, мають невеликі за потужністю моделі (менше 745 Вт), власні витрати енергії яких не мають значення.

Конструкції двигунів для сонячної енергетики повинні протистояти екстремальним температурним режимам (як абсолютним, так і в широкому діапазоні), вологості та корозійності, протистояти вітровим навантаженням і абразивним частинкам, що потрапляють у повітря. Особливо складно визначити двигун, який переживатиме такі несприятливі екологічні умови.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний параметр, який відповідає за непроникність (герметичність) електродвигуна, так і називається - ступінь захисту або IP. У вибухозахищених електромоторів, як і у загальнопромислових двигунів рівень захисту стандартно IP54 або IP55 (у всіх заводів по-різному). Помилково вважають, що IP55 надійніше і пилю в такі електродвигуни проникає менше. Це зовсім не так. Від частинок пилю ці двигуни захищені абсолютно однаково, різниця у них в захисті від проникнення вологи (вологозахист). Тільки ступінь захисту електродвигуна IP65 і вище дозволяє уникнути попадання пилю і бруду всередину корпусу повністю. Цей ступінь не є стандартною ні для одного асинхронного електродвигуна.

Найчастіше двигун поєднується з коробкою передач, що зменшує частоту обертання вихідного вала і збільшує крутний момент. У свою чергу, двигун-редуктор забезпечує рушійну силу або для приводних механізмів, або для лінійних приводів. Загальне високе зменшення передач, що включає не тільки оптимізування швидкості валу для відстеження сонця, але також діє на протидію ефектам вітрового навантаження, які потенційно можуть бути досить високими. Використання редуктора з високим значенням є причиною, чому потужність двигуна може становити 750 Вт і навіть менше.



Рисунок 2.2 – Редуктор.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

І двигуни, і шестірні, прикріплені до них, повинні бути оптимізовані з урахуванням низьких швидкостей та великого крутного моменту, що характеризують сонячне відстеження.

Сонячна система позиціонування, яка може працювати автономно без необхідності розробляти потужний мікропроцесор, зі стандартним алгоритмом сонячного позиціонування, який використовується для орієнтації панелі. Швидкість обертання вихідного вала приблизно  $1 \text{ град/с} = 0,17 \text{ об/хв}$  для забезпечення великої точності орієнтації. У цій роботі була розроблена проста, економічно ефективна алгоритмо-надійна одноосьова система відстеження для вимірювання сонячного положення.

## 2.2 Розрахунок механізму повороту сонячної панелі

Для дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи стеження, необхідно провести розрахунок величини додаткового моменту від вітрового навантаження, що діє на раму з сонячною панеллю.

Момент від вітрового навантаження може бути розрахований за такою формулою:

$$M_{\text{вітр}} = \frac{1}{4} SLKW$$

Де,  $W = 0,61V^2$ ,  $K = 0,4$  – коефіцієнт для місцевості;  $S$  – площа сонячної панелі;  $L$  – Висота установки;  $V$  – швидкість вітру.

Таблиця 2.1 - залежність момент вітрового навантаження від швидкості.

Швидкість вітру, м/с	1	5	10	15	20	25	30
Момент вітрового навантаження, Н*м	0,4	11,7	46,8	105,3	187,2	292,5	421,3

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>			Арк.
								11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

### 2.3. Вибір електродвигуна

Визначення частоти обертання і кутову швидкість. Кутова швидкість визначається за формулою:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

де  $n$  – частота обертів.

$$n = \frac{V}{L} \cdot 60$$

$V = 0,1$  м/с – лінійна швидкість;

$L$  – довжина конструкції.

$$n = \frac{0,1}{5,85} \cdot 60 = 1,02 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Тоді отримаємо:

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,02}{60} = 0,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

### 2.4.Визначення часу розгону і прискорення навантаження.

Прискорення навантаження знаходимо за формулою:

$$E = \frac{\omega}{t_{\text{розг}}};$$

Де

$\omega$  - кутове прискорення,

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



$t_{\text{розг}}$  - час розгону двигуна.

Час розгону  $t_{\text{роз}}$  визначається , за формулою :

$$t_{\text{роз}} = \frac{V}{a};$$

Де

$V = 0,1$  м/с. - лінійна швидкість;

$a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. – задане прискорення;

$$t_{\text{розг}} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2 \text{ с}$$

Тоді прискорення навантаження буде дорівнювати:

$$E = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ рад/с}^2$$

## 2.5. Визначення моменту інерції навантаження.

Обчислення моменту інерції навантаження:

$$J_1 = \frac{M \cdot t_{\text{розг}}}{\omega};$$

Де:

$M$  – крутний момент;  $M = 2400$  Н•м,  $t_{\text{розг}}$  – час розгону двигуна,

$\omega$  – кутове прискорення.

$$J_1 = \frac{2400 \cdot 0,2}{0,1} = 4800 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6.Визначення потужності двигуна.

Потужність двигуна визначається за формулою:

$$P = P_{\text{дин}} + P_{\text{ст}}$$

де

$P_{\text{дин}}$  – динамічна потужність,

$P_{\text{ст}}$  – статична потужність.

Розрахунок динамічної потужності:

$$P_{\text{дин}} = \frac{J \cdot n^2}{91200 \cdot t_{\text{розг}}} = \frac{4800 \cdot 1,02^2}{91200 \cdot 0,2} = 0,273 \text{ кВт}$$

Статична потужність знаходиться по формулі:

$$P_{\text{ст}} = \frac{\Sigma m \cdot g \cdot \mu \cdot h \cdot n}{9550} = \frac{300 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 5,85 \cdot 1,02}{9550} = 0,183 \text{ кВт}$$

Де,  $m = 300$  кг – маса конструкції,

$G = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння,

$\mu = 0,1$  – коефіцієнт тертя кочення,

$r = 3$  м плече моменту,

$n = 1,02$  об/хв. – необхідна частота обертання, об/хв.

Звідси отримаємо потужність:

$$P = P_{\text{дин}} + P_{\text{ст}} = 0,273 + 0,183 = 0,456 \text{ кВт}$$

## 2.7 Вибір двигуна.

Робочий цикл позиціонування сонячної панелі (тахограма).

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

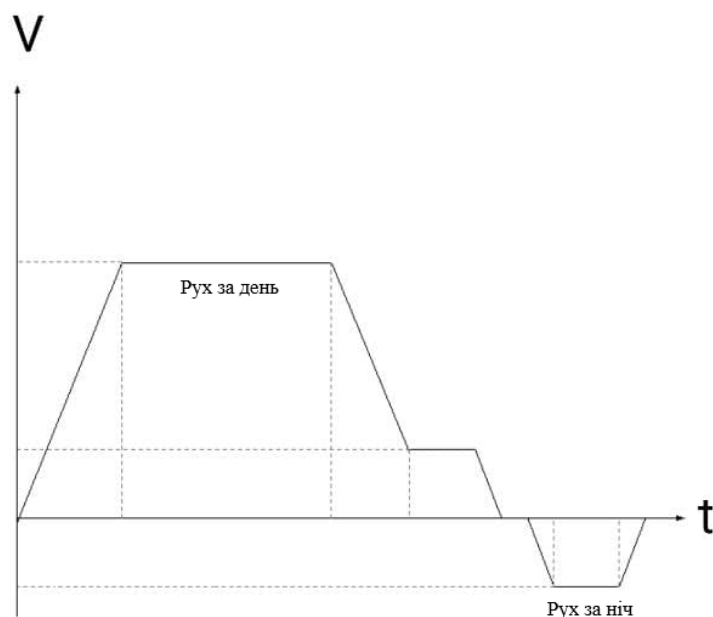


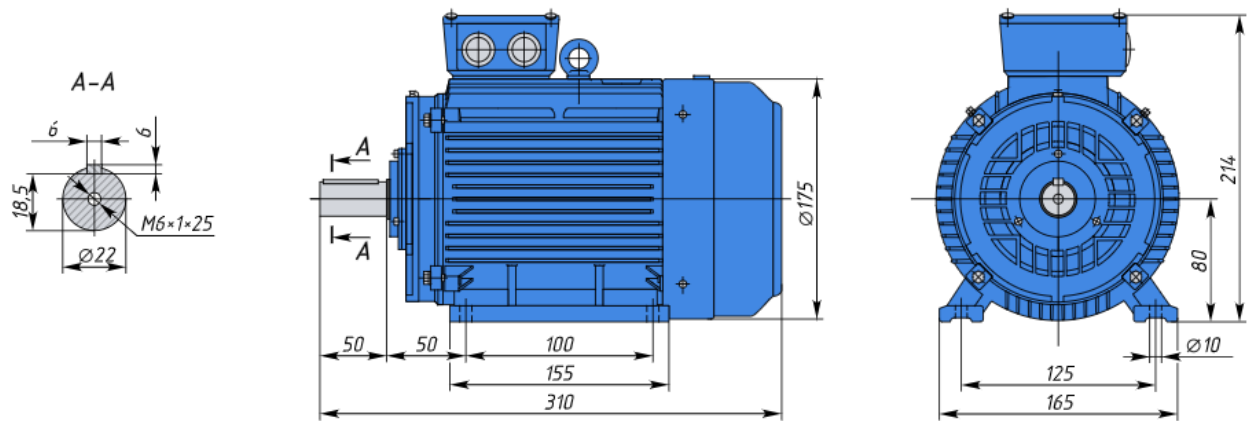
Рисунок 2.2 - навантажувальна діаграма повороту сонячної панелі

Вибираємо двигун відповідний до розрахованих параметрів потужністю  $>0,456$  кВт. Технічні характеристики асинхронного трифазного електродвигуна типу АІР80В8:

Таблиця 2.2 - Характеристики вибраного двигуна

Тип двигуна	АІР80В8
Напруга	220 В
Ступінь захисту ІР	ІР65
Тип ротора	Короткозамкнений
Потужність Р, kW	0,55
Оберти n, об/хв	350
ККД $\eta$ , %	63
$\cos\phi$	0,6
$I_n$ , А	1,6
$I_p/I_n$	4
$M_p/M_n$ , Нм	1,8
$M_{max}/M_n$ , Нм	2
Момент Інерції J, кг·м <sup>2</sup>	0,09
Маса Kg	19
Активний опір статора R1, в.о.	0,13
Активний опір ротора X1, в.о.	0,11
Індуктивний опір статора R2, в.о.	0,086
Індуктивний опір ротора X2, в.о.	0,2

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



## 2.8. Розрахунок додаткових характеристик двигуна.

Зовнішній момент інерції  $J_3$  обчислимо за формулою:

$$J_3 = J \cdot \left( \frac{n}{n_{max}} \right)^2$$

Де,

$J_3$  – момент інерції навантаження;

$n$  – частота обертів навантаження;

$n_{max}$  – максимальна частота обертання.

$$J_3 = 4800 \cdot \left( \frac{1,02}{350} \right)^2 = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Розраховуємо статичний крутний момент:

$$M_{ст} = \frac{P_{ст} \cdot 9550}{n_{max}} = \frac{0,0183 \cdot 9550}{350} = 0,49 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо динамічний момент за формулою :

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$M_{\text{дин}} = \frac{(J_{\text{д}} + J_{\text{з}}) \cdot n_{\text{max}}}{9,55 \cdot t_{\text{роз}}} + M_{\text{ст}}$$

Де

$J_{\text{д}} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції двигуна;

$J_{\text{з}}$  - зовнішній момент інерції;

$n_{\text{max}}$  - максимальна частота обертання;

$t_{\text{роз}}$  - час розгону двигуна;

$M_{\text{ст}}$  - статичний крутний момент.

Отримаємо, що динамічний момент дорівнює:

$$M_{\text{дин}} = \frac{(0,09 + 0,04) \cdot 350}{9,55 \cdot 0,2} + 1,146 = 24,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальний крутний момент  $M_{\text{н}}$ , знаходиться за формулою:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{дин}} \cdot 9550}{n_{\text{max}}} = \frac{0,55 \cdot 9550}{350} = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

## 2.9 Розрахунок гальма

При цьому забезпечується надійний розгін. Перевірка точності зупинки.

Двигун зупиняється механічним гальмом, а час гальмування обчислюється за формулою:

$$t_{\text{гал}} = \frac{(J_{\text{д}} + J_{\text{з}}) \cdot n_{\text{max}}}{9,55 \cdot (M_{\text{пск}} + M_{\text{ст}})}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де

$M_{\text{пск}} = 36 \text{ Н} \cdot \text{м}$  - пусковий обертовий момент,

$M_{\text{ст}} = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$  - статичний крутний момент.

Звідси:

$$t_{\text{гал}} = \frac{(0,09 + 0,04) \cdot 350}{9,55 \cdot (36 + 0,49)} = 0,13 \text{ с}$$

При цьому уповільнення при гальмування дорівнює:

$$a_{\text{гал}} = \frac{V}{t_{\text{гал}}} = \frac{0,1}{0,13} = 0,76 \text{ м/с}^2$$

Довжина гальмівного шляху знаходиться, як :

$$S_{\text{гал}} = V \cdot 1000 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot t_{\text{гал}} + t_x \right)$$

Де

$V$  – лінійна швидкість;

$t_{\text{гал}}$  – час гальмування;

$t_x = 0,003 \text{ с}$  – час гальмування двигуном на холостому ході.

Звідси отримаємо:

$$S_{\text{гал}} = 0,1 \cdot 1000 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 0,13 + 0,003 \right) = 6,8 \text{ мм}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Точність зупинки :

$$X_{\text{гал}} \approx \pm 0,12 \cdot S_{\text{гал}} = \pm 0,12 \cdot 6,8 = 0,81 \text{ мм}$$

Розрахунок редуктора:

$$i = \left( \frac{n_{\text{max}}}{n \cdot I_v} \right) = \frac{350}{1,02 \cdot 4,4} = 77,9$$

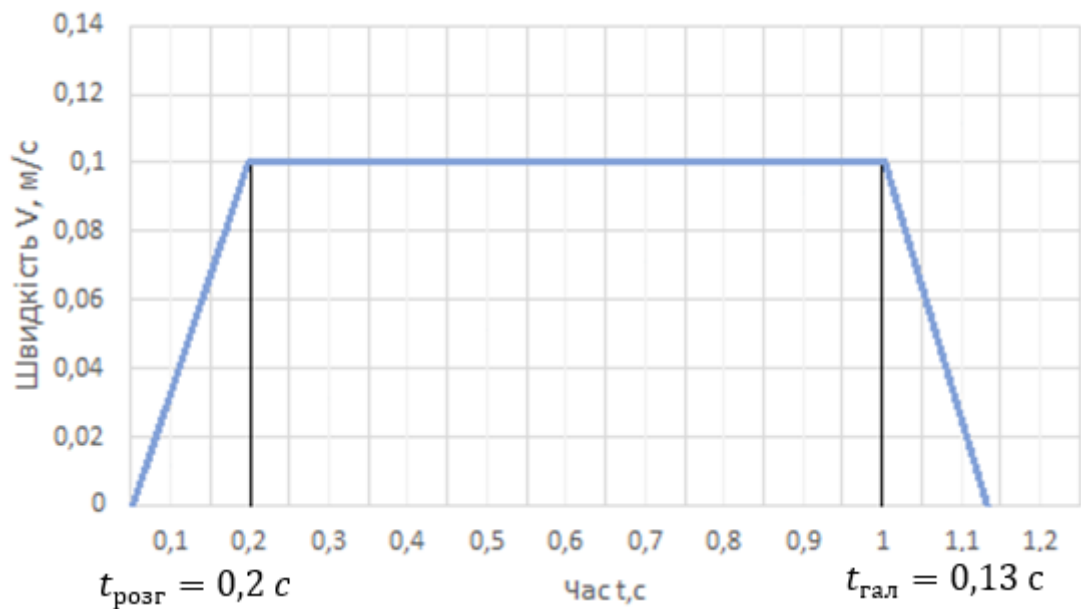


Рис. 2.1. Графік розгону і гальмування

					ЕП.МР.20.07. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## Висновки

1.Проведений аналіз систем стеження за Сонцем до функціональній схемі системи стеження однокоординатним електромеханічним виконавчим механізмом.

2.Дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи стеження, розрахунок моментів навантаження при вітрових навантаженнях.

3.Вибір двигун відповідний до розрахованих параметрів, та розрахунок додаткових характеристик електродвигуна.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



### 3 Дослідження динаміки електроприводу

#### 3.1 Система частотного управління

Сьогодні найпоширенішим двигуном промислових електроприводів, є асинхронний електропривод з короткозамкненим ротором. Це є самий простий, надійний та дешевий електропривод в широкому діапазоні частоти обертання, та потужності. Найбільш ефективним і поширеним серед регульованих асинхронних електроприводів є, частотно-регульований електропривод на основі перетворювача частоти. Застосування частотно-регульованого асинхронного електроприводу в механізмах підйомно-транспортного, опорно-поворотного устаткування є ефективним методом підвищення технологічності. Використання таких приводів дозволяє:

- значно (до 40%) знизити енергоспоживання, що особливо актуально при постійно зростаючих тарифах на енергоносії;
- здійснити розгін і гальмування двигуна плавно, по довільній тимчасовій залежності, з варіюванням часу розгону і гальмування від долі секунди до десятків хвилин;
- підвищити комфортні показники при русі і довговічність механічного обладнання завдяки плавності перехідних процесів;
- захистити двигун від перевантажень по струму, перегріву, витоків на «землю» і від обривів в ланцюгах живлення двигунів;
- знизити експлуатаційні витрати на капітальний ремонт обладнання за рахунок значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичного ланцюга;

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- змінювати швидкості і прискорення руху механізмів стосовно до конкретних технологічних завдань;

Управління перетворювачами частоти доцільно здійснювати від програмованого контролера (PLC). Контролер найбільш оптимальний за своїми характеристикам з точки зору ціни і якості, найбільш поширений в промислових установках, дуже надійний при важких умовах експлуатації.

Вибір типу перетворювача залежить:

- від частоти мережі живлення;
- від необхідного діапазону зміни частоти на виході перетворювача;
- від потужності електродвигуна;
- від діапазону зміни навантаження на валу електродвигуна;
- від наявності або відсутності реверсу;
- від режимів роботи електродвигуна.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

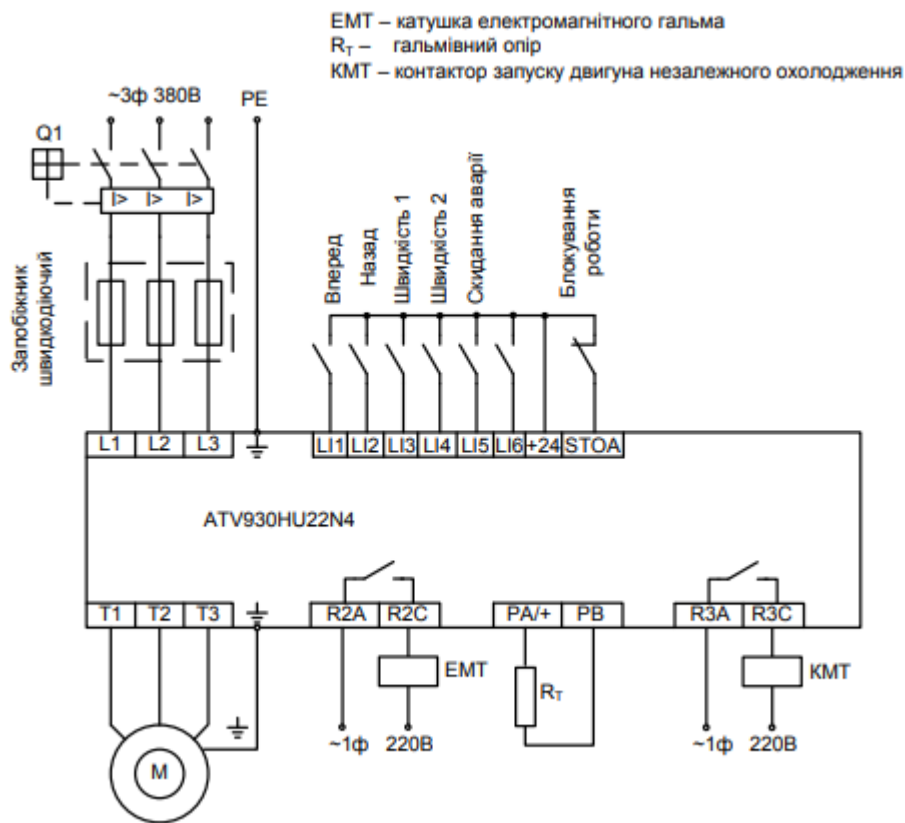


Рис.3.1. Принципова схема підключення перетворювача частоти до асинхронного двигуна.

Діапазон зміни частоти перетворювача повинен бути не менше необхідного діапазону зміни частоти напруги живлення електродвигуна. Вибір перетворювача здійснюється по каталогам електротехнічної промисловості на основі номінальних даних попередньо обраного електродвигуна. В відповідно до ТЗ потужність перетворювача частоти повинна перевищувати потужність електродвигуна на 20%.

Тоді РПЧ  $\geq 0,55 \text{ кВт} \cdot 1,2 = 0,66 \text{ кВт}$ . Вибираємо перетворювач частоти потужністю  $\geq 0,66 \text{ кВт}$ . На основі вищевикладених вимог до перетворювача був обраний перетворювач частоти ATV320 серії Altivar 320(ATV320U07M2C) випускається фірмою Schneider Electric . Технічні дані перетворювача наведені далі:

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 характеристик частотного перетворювача

<b>Серія</b>	Altivar 320(ATV320U07M2C)
<b>Тип продукту</b>	Привід регулювання частоті обертів
<b>Коротка назва пристрою</b>	ATV320
<b>Призначення продукту</b>	Асинхронний електропривод
<b>Число фаз</b>	3 фази
<b>Потужність двигуна, кВт</b>	0,75 кВт
<b>[Us] номінальна напруга мережі</b>	200...240 В – 15...10 %
<b>Частота мережі</b>	50...60 Hz – 5...5 %
<b>Лінійний струм</b>	2,7 А в 240 В 3,3 А в 200 В

Розроблений для OEM-виробників, перетворювач частоти Altivar 320, що входить в лінійку продуктів Altivar Machine, дозволяє підвищити ефективність промислових машин, а також знизити витрати на проектування і розробку завдяки наступним перевагам: компактне виконання, розроблені для простої інтеграції практично з будь-якими агрегатами і монтажу як всередині шаф управління, так і всередині машин; Розвинені комунікаційні можливості дозволяють інтегрувати привід з усіма широко поширеними мережами від EtherNet IP до CANopen, тим самим забезпечуючи інтеграцію з рішеннями Schneider Electric MachineStructure і сприяючи відповідності PLCopen; Надійне і точне управління як синхронними, так і асинхронними двигунами; Надійна конструкція з покриттям друкованих плат IEC 60721-3-3 Class 3C3 для використання машин в суворих кліматичних умовах,

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

наприклад, при температурі до 60 ° С, без необхідності додаткового охолодження

### 3.2 Розрахунок параметрів САР і моделювання проводимо у відносних одиницях.

Параметри ланок, використовувані в моделі :

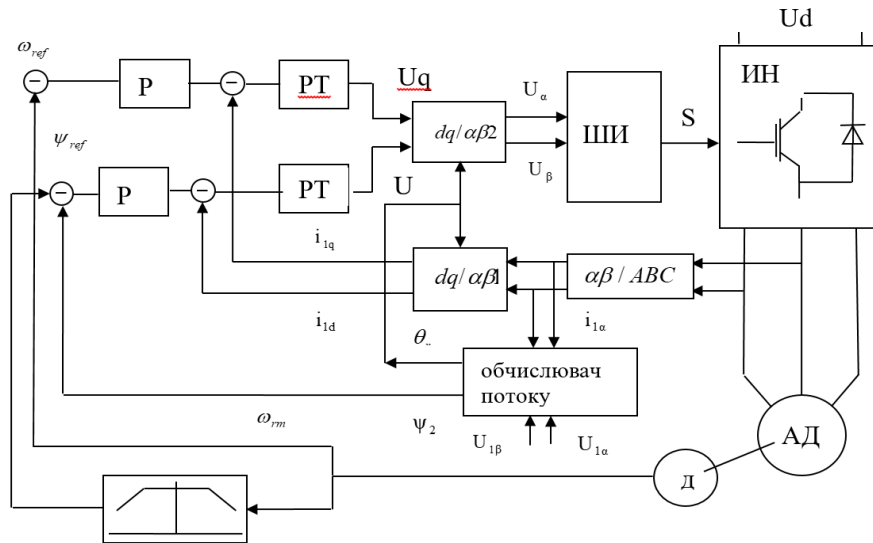


Рис 3.2. Функціональна схема електроприводу, реалізуючи векторне керування.

Базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_m \cdot \sqrt{3}}{I_m \cdot \sqrt{3}} = \frac{220 \cdot \sqrt{3}}{1,6 \cdot \sqrt{3}} = 59,4 \text{ Ом}$$

Опори в ланцюзі статора:

$$R_{1b} = R_1 \cdot Z_b = 0,13 \cdot 59,4 = 7,72 \text{ Ом}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$X_{1b} = X_1 \cdot Z_b = 0,086 \cdot 59,4 = 5,1 \text{ Ом}$$

Опори в ланцюзі ротора:

$$R_{2b} = R_2 \cdot Z_b = 0,11 \cdot 59,4 = 6,53 \text{ Ом}$$

$$X_{2b} = X_2 \cdot Z_b = 0,2 \cdot 59,4 = 11,88 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$k_t = \frac{U_b}{2 \cdot I_{\Phi H} \cdot 2^{0,5}} = \frac{10}{2 \cdot 1,6 \cdot 2^{0,5}} = 4,41$$

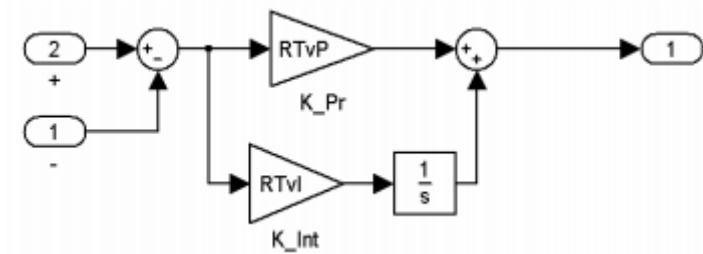


Рисунок 3.3 - Модель регулятора струму

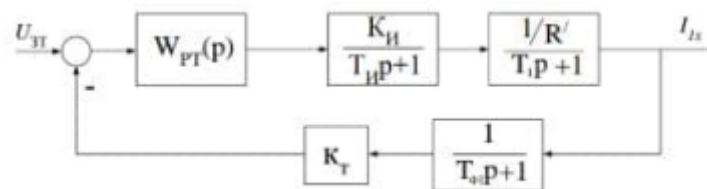


Рисунок 3.4 – структурна схема контуру регулювання струму

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_s = \frac{U_b}{\omega_{max} \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{10}{350 \cdot \frac{3,14}{30}} = 0,27$$

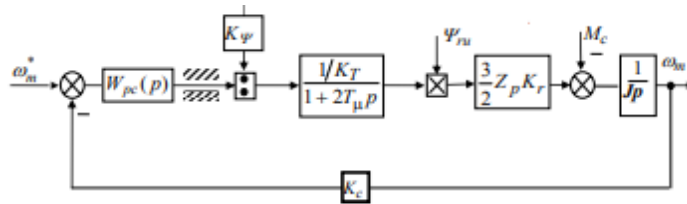


Рисунок 3.5 - Структурна схема контуру регулювання швидкості

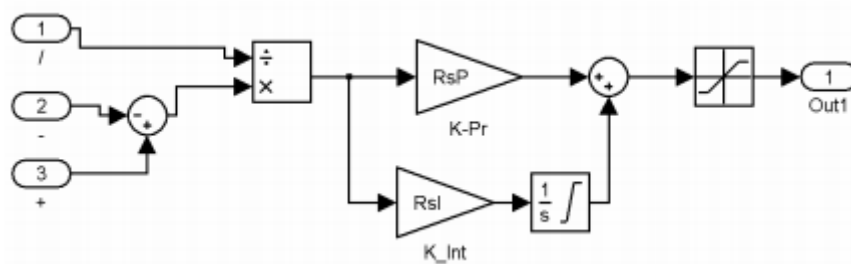


Рисунок 3.6 - Модель регулятора швидкості

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора:

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{4,0676}{4,1052} = 0,99$$

Постійна часу ротора:

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{4,1052}{6,53} = 0,62 \text{ с}$$

Номінальне потокозчеплення:

$$\Psi_H = \frac{I_H}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_H \cdot 2p \cdot k_2} = \frac{1,6}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 8 \cdot 0,99} = 0,119$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по потокозчепленню:

$$k_\psi = \frac{U_b}{\Psi_H} = \frac{10}{0,119} = 84,03$$

Передаточна функція регулятора швидкості :

$$W_{PC}(p) = \frac{J \cdot k_t \cdot k_\psi \cdot (8 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{48 \cdot T_\mu^2 \cdot k_C \cdot k_2 \cdot p_n \cdot p}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



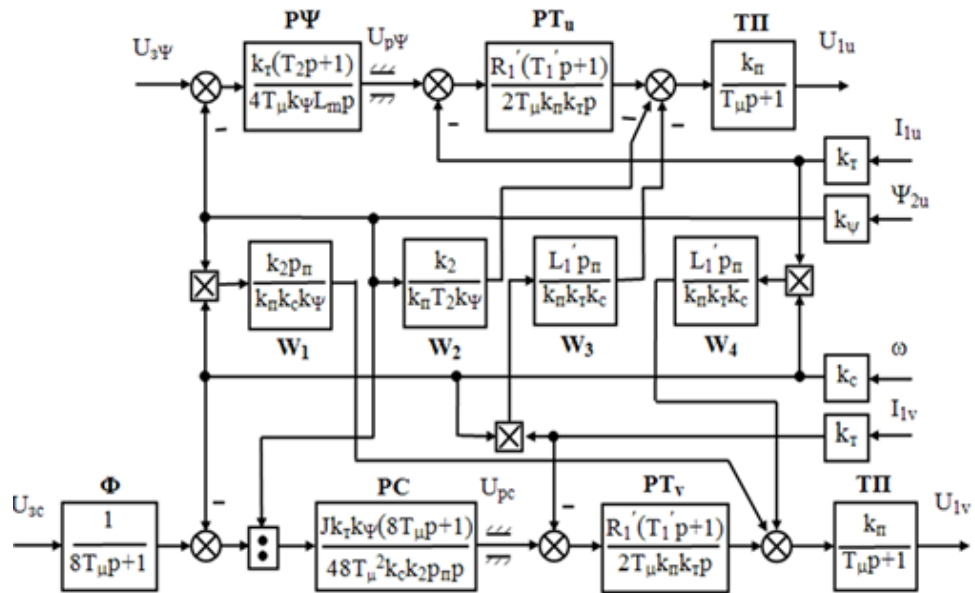


Рисунок 3.7 Структурна схема САР електроприводу з векторним керуванням.

Тоді пропорційна частина РШ :

$$W_{PC\Pi}(p) = \frac{J \cdot k_t \cdot k_\psi}{6 \cdot T_\mu \cdot k_c \cdot k_2 \cdot p_n} = \frac{0,0038 \cdot 4,41 \cdot 84,03}{6 \cdot 0,001 \cdot 0,27 \cdot 0,99 \cdot 8} = 110$$

Інтегральна частина:

$$W_{PCИ}(p) = \frac{J \cdot k_t \cdot k_\psi}{48 \cdot T_\mu^2 \cdot k_c \cdot k_2 \cdot p_n} = \frac{0,0038 \cdot 4,41 \cdot 84,03}{48 \cdot 0,001^2 \cdot 0,27 \cdot 0,99 \cdot 8} = 13719$$

Передаточна функція регулятора потокозчеплення

$$W_{P\Psi}(p) = \frac{k_t \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_\mu \cdot k_\psi \cdot L_m \cdot p}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пропорційна частина регулятора потокозчеплення

$$W_{P\Psi\Pi}(p) = \frac{k_t \cdot T_2}{4 \cdot T_\mu \cdot k_\psi \cdot L_m} = \frac{4,41 \cdot 0,62}{4 \cdot 0,001 \cdot 84,03 \cdot 4,067} = 2,02$$

Інтегральна частина регулятора потокозчеплення

$$W_{P\Psi\text{И}}(p) = \frac{k_t \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_\mu \cdot k_\psi \cdot L_m} = \frac{k_t \cdot (0,62 \cdot 8 + 1)}{4 \cdot 0,001 \cdot 0,27 \cdot 4,067} = 6047,3$$

Розрахункові параметри САР використовуються для програмування вище обраного перетворювача частоти.

Контур регулювання швидкості зображено на рис. 3.4. Контур складається з аперіодичної та інтегральної ланки. Для отримання передаточної функції ПРегулятора швидкості (астатична система) скористуємося симетричним критерієм оптимізації, передаточна функція якого має вид

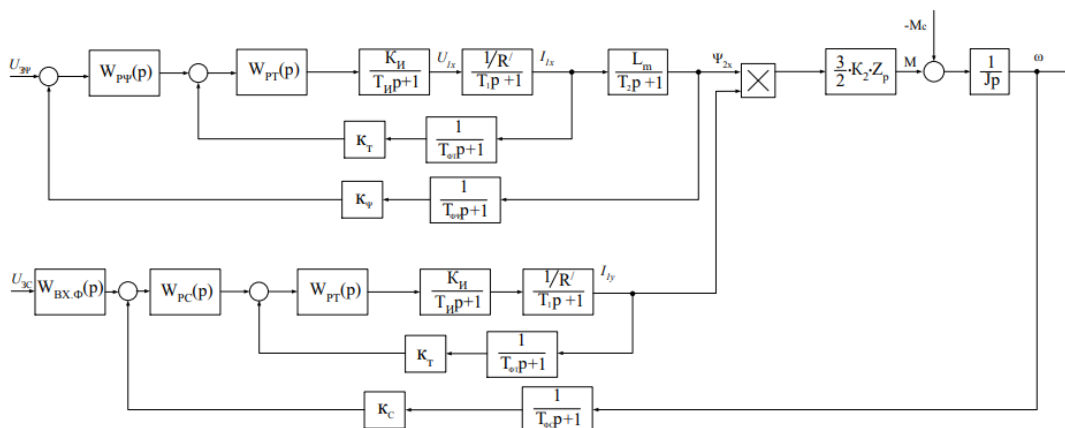
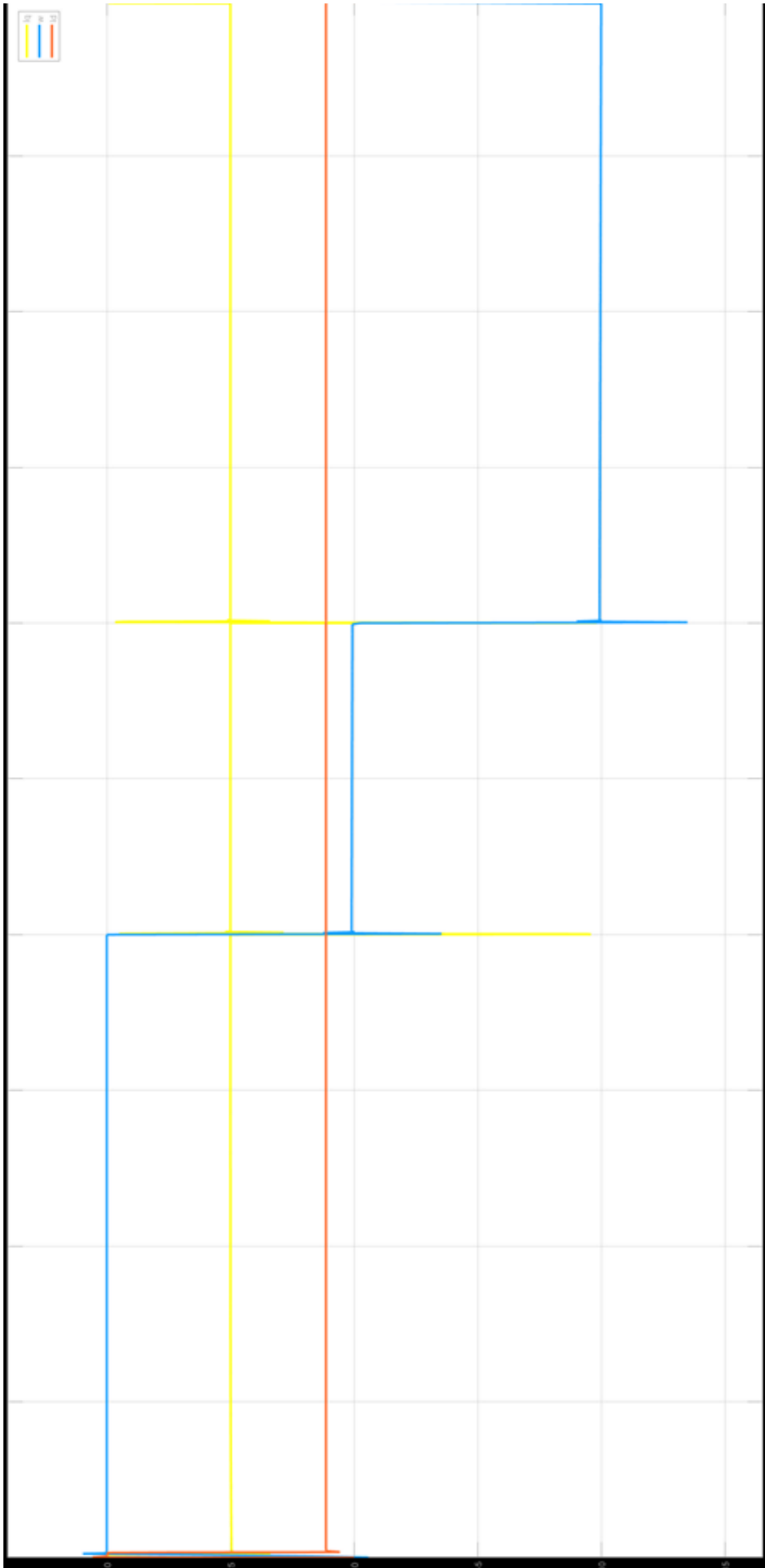


Рисунок 3.8 – структурна схема системи автоматичного регулювання

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



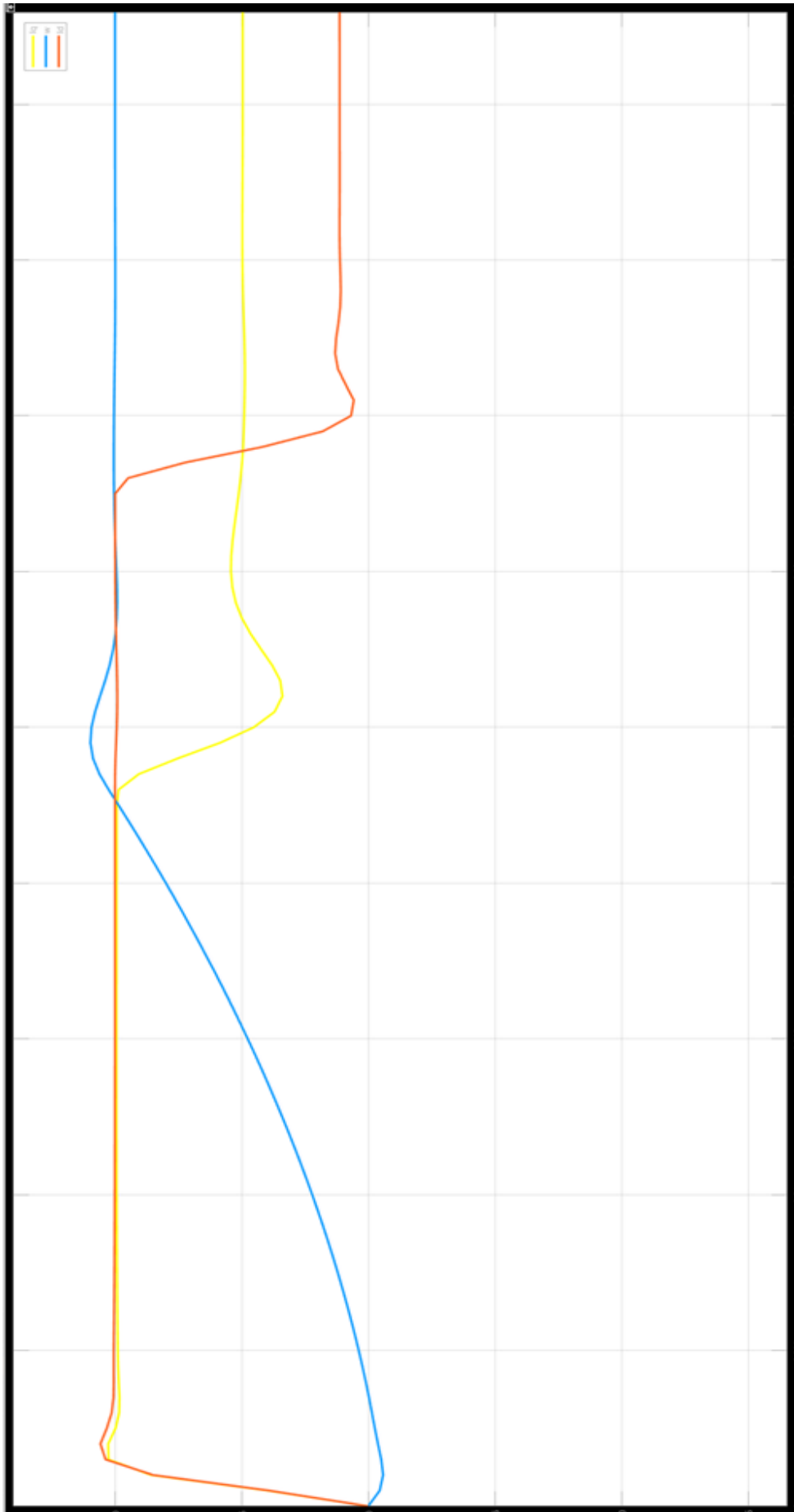
**Рисунок 3.9 - Графік перехідних процесів**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ЕП.МР.20.07. ПЗ**

Арк.

31



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ЕП.МР.20.07. ПЗ**

Арк.

32



## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Основна мета цього розділу – це розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат на впровадження проектного варіанту системи електропривода позиціонування сонячної панелі.

Об'єкт проектування - система електропривода на основі перетворювача частоти Altivar 320.

До впровадження проектного варіанту в якості приводного двигуна використовувався асинхронний двигун з короткозамкненим та релейноконтакторною схемою керування.

Розрахунки, що містяться у спеціальній частині проекту довели доцільність використання сучасної системи електропривода перетворювач частоти асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ПЧ-АД). Використання цієї системи дозволяє впливати на параметри технологічного процесу та умови роботи обладнання: змінювати швидкість, не втручаючись у механічну частину електропривода, змінювати значення частоти і прискорення у широких межах і здійснювати плавний розгін, зменшувати динамічні навантаження в елементах електропривода за рахунок підвищення якості регулювання режимів роботи двигуна. Окрім цього, це підвищить надійність експлуатації устаткування, зменшить кількість ремонтів та час на додаткове обслуговування, скоротить споживання електричної енергії.

### 4.1 Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції – це грошові ресурси що призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, які підлягають

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

амортизації. Капітальні витрати на впровадження проектного варіанта визначаються за такою формулою:

$$K_{ПР} = K_{ОБ} + K_{ТЗС} + K_{МН}$$

Де,  $K_{ОБ}$  – вартість придбаного обладнання, грн;

$K_{ТЗС}$  – транспортно - заготівельні та складські витрати,

$K_{МН}$  – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн.

Вартість електрообладнання включає в себе транспортно-заготівельні витрати, тому що фірма – продавець здійснює його доставку.

Демонтажні і монтажно-налагоджувальні роботи здійснюються електромеханіком підприємства та розраховуються за формули:

$$Z_{м(н)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\delta} \times K_{см} \times K_{пр}$$

де  $i = 4$  – розряд робочого, що здійснює монтажно – налагоджувальні роботи;

$C_i = 1$  чел. – чисельність робочих 4-го розряду задіяних у монтажі;

$a_i = 60,5$  грн. – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер 4го розряду);

$t_i = 30$  год. – час на виконання монтажу та наладки;

$K_{\delta} = 1,15$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{см} = 1,22$  – коефіцієнт що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр} = 1,05$  – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Вартість монтажних робіт:

$$Z_m = (1 \times 30 \times 60,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 2673 \text{ грн.}$$

Вартість демонтажних робіт ( $t_{\delta} = 17$  год. – час на здійснення демонтажу):

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_n = (1 \times 17 \times 60,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 1515 \text{ грн.}$$

Разом:

$$Z_{m(n)} = Z_n + Z_m = 2673 + 1515 = 4188 \text{ грн}$$

Проектні капіталовкладення в обладнання та монтаж-налагоджувальні роботи прийняті на основі цін прейскуранта на електрообладнання фірми “Schneider Electric Україна”, (м. Київ, Україна) від 01.08.20.

Ліквідаційна вартість дорівнює 0, тому що в механізмі поворота сонячної панелі використовується нове обладнання без використання старого.

Розрахунок капітальних витрат представлено у вигляді таблиці за розділами (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування розділів	Проектний варіант, грн.
1.	Електрообладнання:	
	Електропривод Altivar 320	20150
	Дросель мережевий	5090
	Вимикач автоматичний	968
	Резистор гальмівний	950
	Шафа металева	6020
	Разом	33181
2.	Витрати на монтаж та наладку	2673
3.	Демонтажні роботи	1515
4.	РАЗОМ	37370

Отже, капітальні витрати на впровадження науково-технічного проекту, складає:

$$K_{np} = 33181 + 2673 + 1515 = 37370 \text{ грн}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкту проектування за певний період, що виражаються в грошовій формі.

- Основні статі експлуатаційних витрат за електротехнічним обладнанням
- амортизаційні відрахування ( $C_A$ );
- заробітна плата обслуговуючому персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання ( $C_m$ )
- вартість електроенергії, спожитої об'єктом проектування ( $C_E$ );
- інші витрати ( $C_{IH}$ ).

Тож, експлуатаційні витрати за рік розрахуємо наступним чином:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_m + C_E + C_{IH}, \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

## 4.3 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів та нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат.

$$\Phi_a = \Phi_p - L,$$

де  $\Phi_p$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Л – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити ліквідаційну вартість об'єкту основних засобів неможливо, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється рахувати що вона дорівнює нулю.

$$\Phi_a = 37370 - 0 = 37370 \text{ грн,}$$

Мінімально допустимі терміни корисного використання 5 років за окремими групами основних засобів. Група 4 – машини і обладнання; – електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи і т. д.

Відсоток амортизаційних відрахувань визначаємо за допомогою прямолінійного методу – пропорційно розподіляємо суми витрат на повний строк служби:

$$H_a = \left( \frac{\Phi_{п-Л}}{\Phi_{п} \cdot T_{п}} \right) \cdot 100\%$$

де  $T_{п}$  – термін корисного використання (амортизаційний період), для вибраного обладнання, що відноситься до 4 групи ОВФ та дорівнює  $T_{п} = 12$  років, згідно таблиці.

$$H_a = \left( \frac{37370,23-0}{37370,23 \cdot 12} \right) \cdot 100\% = 8,3 \%$$

Оскільки проектний варіант розглядається для впровадження, ліквідаційна вартість основних засобів дорівнює 0,0 грн.

$$C_A = K_{ПР} \times H_a$$

$$C_A = 37370 \times 8,3\% = 2989 \text{ грн}$$

$$C_{A.БАЗ} = 78470 \times 8,3\% = 651 \text{ грн}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Проектний варіант	37370	8,3	2989
Базовий варіант	7847	8,3	651

Базова вартість замінюваного устаткування узяті за даними відділу основних засобів підприємства, що складають 7847 грн

#### 4.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Кількість електроенергії, спожитої за рік, розраховуємо наступним чином:

$$W_e = N_y \times \Phi_e / КПД$$

$N_y = 0,55$  кВт – встановлена потужність обладнання;

$КПД = 0,6$  – коефіцієнт корисної дії електропривода;

$\Phi_g$  – річний фонд робочого часу визначається , як:

$$\Phi_e = (D_k - D_{np} - D_v) \times T_{cm}, \text{ год.}$$

$$\Phi_e = (365 - 104 - 11) \times 12 = 3000 \text{ год}$$

де  $D_k$  – кількість календарних днів в році, 365 днів;

$D_{np}$  – кількість святкових днів за рік, 11 днів;

$D_v$  – кількість вихідних днів за рік, 104 дні;

$T_{cm}$  – номінальний час роботи обладнання, 12 год.

Робота на станції проводиться у дві робочі зміни загальною тривалістю 12 робочих годин. Розглянута конструкція сонячної панелі

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відіграє допоміжну роль у здійсненні основних технологічних операцій і використовується не на постійній основі.

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом протягом одного року, визначається на основі його встановленої потужності та річного фонду робочого часу об'єкта за формулою:

$$C_E = W_p \times C_e,$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом протягом року:

$$C_E = 2376 \times 2,019 = 4797 \text{ грн}$$

$$C_{E.БАЗ} = 3240 \times 2,019 = 6541 \text{ грн}$$

Кількість спожитої за рік електроенергії, кВт-год розраховуємо по формулі:

$$W_p = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 0,55 = 2376 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{p.БАЗ} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 0,75 = 3240 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де  $t_d$  - кількість робочих днів в місяць.

$t_h$  - кількість робочих годин в зміну.

$t_n$  - кількість місяців на рік.

$P_n$  - потужність електродвигуна.

Де,  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт · год;  
 $C_e$  - тариф 1 кВт\*год. електроенергії для споживачів 1-го класу 1-ї групи, за даними «Дніпрообленерго» станом на 01.08.2020 становить 2,019 грн/кВт\*год.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.5 Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електротехнічного обладнання включають в себе витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату робочого, ремонт та інше. Витрати на технічне обслуговування позначаємо як  $Z_{Tp}$

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right)$$

де  $n$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од.:

➤ середнього - 7,0;

$m_i$  – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

$R_{\Sigma}$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання:

✓ асинхронний двигун від 0,5 до 5 кВт - 1,3;

✓  $S_i$  – вартість однотипних замінних елементів, грн.;

✓  $\Pi$  – кількість однотипних замінних елементів;

✓  $T$  – середній термін служби деталей даного типу, год.;

✓  $T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік, год.

$$Z_{Tp} = 60,5 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,3 + \frac{150 \cdot 2}{1300} \cdot 4320 = 1547$$

$$Z_{TpБаз} = 60,5 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,3 + \frac{210 \cdot 3}{1000} \cdot 4320 = 3272$$

Тоді:

$$C_{Tnp} = Z_{Tp} = 1547 \text{ грн.}$$

$$C_{Tбаз} = Z_{Tp} = 3272 \text{ грн.}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta C$  - економія (перевитрата) на експлуатаційних витратах, знаходиться за формулою.

$$\Delta C = C_{\text{БАЗ}} - C_{\text{ПР}} = 10464 - 9333 = 1131 \text{ грн}$$

#### 4.6 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Обслуговування сонячної панелі здійснюється за допомогою змінних електромонтерів з ремонту електрообладнання. В обов'язки цих працівників входить обслуговування не тільки цієї панелі, але і іншого обладнання. Загальний час, витрачений на обслуговування саме панелі, складає 2 години на зміну, четверту частину від тривалості всієї зміни.

Робота ведеться у дві зміни. В кожній зміні працює 1 електромонтери. У 2020 році нараховується 250 робочих днів загальною тривалістю 1993 години (з урахуванням повних та передсвяткових робочих днів).

Додаткову заробітну плату визначимо з розрахунку 10% від основної.

$$Z_{\text{Дод}} = Z_{\text{ОСН}} \times 0.1 = 0,1 \times 37370 = 3737 \text{ грн}$$

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати, необхідної для обслуговування установки (сонячної панелі), складає:

$$C_3 = (Z_{\text{Дод}} + Z_{\text{ОСН}}) = 37370 + 3737 = 41170 \text{ грн.}$$

#### 4.7 Розрахунок єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Законодавством встановлено 22% відрахувань на єдиний соціальний внесок.

$$C_C = C_3 \times 0,22 = 41170 \times 0,22 = 9\,043 \text{ грн.}$$

#### 4.8 Визначення інших витрат

Інші витрати на експлуатацію об'єкта проектування включають витрати на охорону праці, на спецодяг тощо. Відповідно ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. І розраховується, як:

$$C_{IH} = C_3 \times 0,04 = 41170 \times 0,04 = 1644 \text{ грн}$$

Отже , річні експлуатаційні витрати для проектного варіанта складають:

$$C_{IP} = C_A + C_3 + C_C + C_T + C_E + C_{IH}, \text{ грн.}$$

$$C_{IP} = 2989 + 41170,25 + 9\,043,59 + 1547 + 4797 + 1644 =$$

61 190 грн;

Річні експлуатаційні витрати базовий варіант:

$$C_{BAZ} = C_A + C_3 + C_C + C_T + C_E + C_{IH},$$

$$C_{BAZ} = 651 + 41170,25 + 9\,043,59 + 3272 + 6541 + 1644 = 62\,321 \text{ грн;}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.5. Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення.

Основний економічний ефект від впровадження даного технічного рішення базується не на зменшенні кількості споживаної електроенергії, а на мінімізації простою при невдалому пуску перенавантаженого продуктом робочого механізму млинів.

Основною з причин невдалої спроби запуску механізму є невідповідна якість подрібнюваного матеріалу, що утворюється під час простою механізму в момент ремонту.

Річна економія.

За даними на січень 2020 року в Україні Зелений тариф - 6,7 грн за Квт Використовуємо стандартну формулу приблизного розрахунку для сонячної батареї, а після перерахуємо її за коефіцієнтом, отриманого в другому розділі. Щоб розрахувати сонячну ббатарею скористаємося формулою:

$$E = \frac{I \cdot K_o \cdot V_{\text{мод}} \cdot K_{\text{пот}}}{U_{\text{ісп}}}$$

де: I - сонячна енергія, для Дніпропетровської області приймаємо I = 1250 кВт· год / м2 \* рік.

$K_o$  - коефіцієнт перерахунку сумарного потоку сонячної енергії .Для Дніпропетровської області цей коефіцієнт = 1.1.

$V_{\text{мод}}$  - номінальна потужність сонячної батареї. Вказується в паспортних даних до модуля і дорівнює 0,55 кВт

$K_{\text{втр}}$  - коефіцієнт, що враховує втрати сонячної батареї при перетворенні і передачі електроенергії. Його прийнято вважати 80 - 85 % .  
Прийmemo для розрахунку 83%.

$U_{\text{ісп}}$  - інтенсивність сонячної радіації, то є 1000 Вт / м2 (1 кВт / м2).

$$E = \frac{1250 \cdot 1.1 \cdot 3 \cdot 0,83}{3} = 1141 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



За результатами другого розділу одновісна система орієнтування може надати нам в середньому 63 відсотки приросту споживаної енергії в порівнянні з установкою без системи орієнтування.

$$E = 1141 \cdot 1.63 = 1860 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Разом дохід за рік:

$$E_{\text{річ}} = 1860 \cdot 6,3 = 11719 \text{ грн/рік}$$

#### 4.5 Розрахунок терміну окупності

Розрахунок повного річного доходу:

$$E_{\text{пов.річ}} = E_{\text{річ}} - \Delta C = 11\,719 - 1141 = 10\,578 \text{ грн} \cdot \text{рік}$$

Термін окупності проекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{E_{\text{пов.річ}}} = \frac{37370}{10\,578} = 3,5 \text{ років}$$

Крім цього були розраховані річні доходи в разі продажу зеленої енергії, витрати на обслуговуючий персонал, а також на ремонт обладнання, термін окупності проекту склав 3,5 років. Науково-технічне рішення є економічно доцільним оскільки  $T_{\text{ок}} < 12$ .

За результатами проведених розрахунків, визначена сума капітальних інвестицій та експлуатаційних витрат. Сума капітальних інвестицій 37370 грн. Сума експлуатаційних витрат 61 190 грн. Основну частину в експлуатаційних витратах складають витрати, пов'язані з оплатою заробітної платі та загальні відрахувань з неї.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

1. Проведено розрахунок потужності і вибір двигуна електроприводу позиціонування сонячної панелі. Основним критерієм вибору двигуна є величина крутного моменту, який він може розвивати для розгону.
2. Запропоновано варіант системи векторного керування швидкістю електродвигуна. Виконані розрахунки потрібних регуляторів.
3. Для керування двигуном обрано перетворювач частоти типу Altivar 320 та додаткове обладнання.
4. За допомогою методів математичного моделювання у середовищі Matlab проведено дослідження роботи запропонованої системи керування електроприводом, які підтвердили її працездатність.
5. В розділі «Техніко-економічне обґрунтування» проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат для даного проекту і визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення.

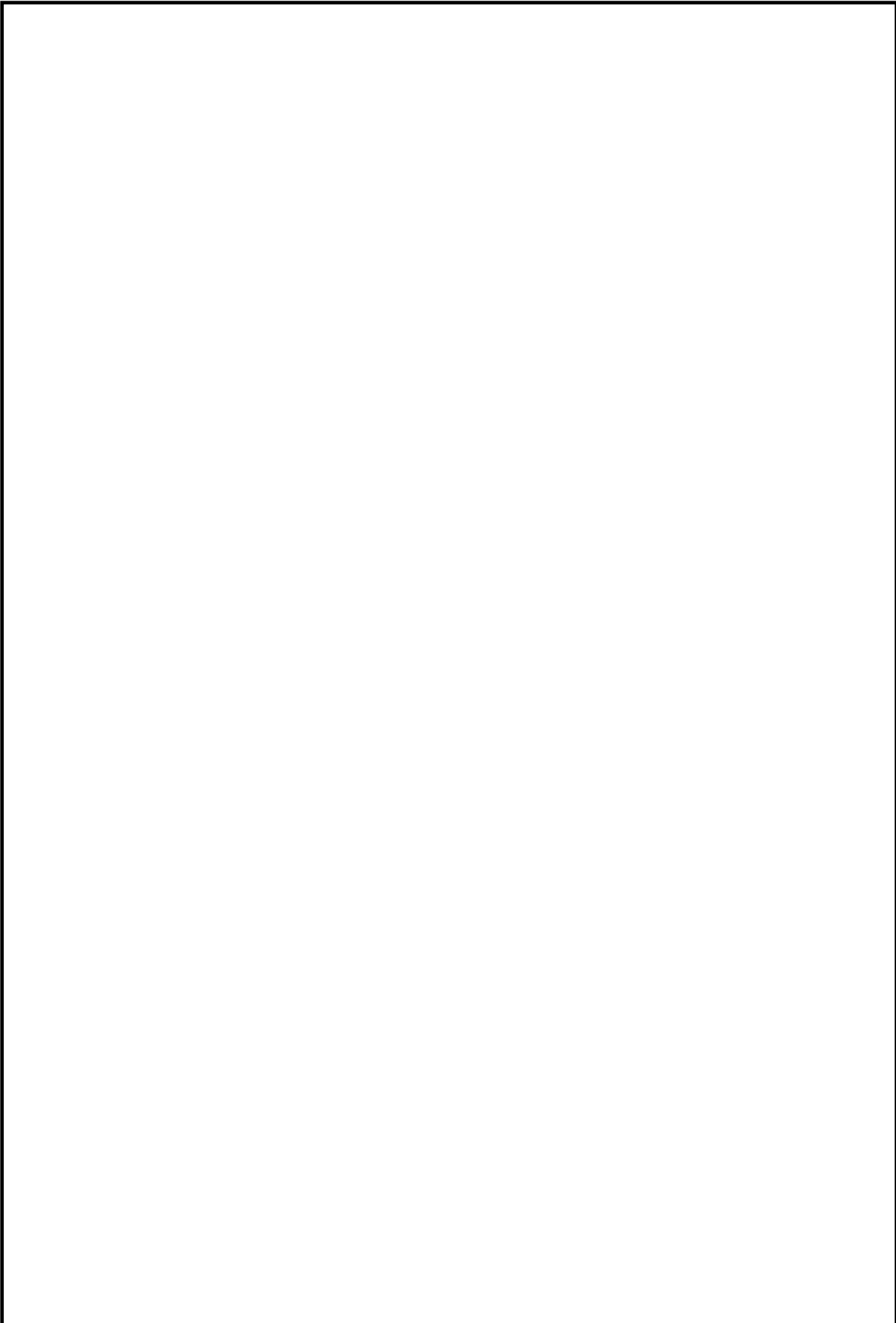
					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА - / Темплан 2016 г. (учебники и учебные пособия) / А. М. Макаров, А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев.
2. Удут, Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. В 6 ч.: учеб. пособие / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007.
3. Сергеев, А. С. Основы автоматизированного электропривода : учеб. пособие / А. С. Сергеев, А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев ; ВолГТУ. – Волгоград, 2013. – 114 с.
4. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
5. [www.schneider-electric.ua](http://www.schneider-electric.ua) ALTIVAR 212 перетворювач частоти.
6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ Ф.В. Саврасов, И.К. Ковалев\* Томский политехнический университет 2012.
7. АВТОНОМНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, В.В. Аржанов, О.А. Теуцаков, А.В. Осипов, К.В. Аржанов Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники 2012.
8. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2020. - 18 с.
9. Аржанов, К.В. Автоматическое управление солнечной энергетической установкой / К.В. Аржанов / АО НПЦ «Полнос». Томск, 2015. С.23-25.

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

					<b>ЕП.МР.20.07. ПЗ</b>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50